

---

**TUGAS AKHIR - MN141581**

**STUDI PENGARUH KETAHANAN *STRESS CORROSION CRACKING (SCC)* PADA PENGELASAN *STAINLESS STEEL 304* DENGAN METODE *U-BEND STRESS* PADA TANGKI RUANG MUAT *CHEMICAL TANKER***

INTAN PRATIWI

NRP. 4111 100 095

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



---

**FINAL PROJECT - MN141581**

**THE STUDY OF STRESS CORROSION CRACKING (SCC)  
RESISTANCE INFLUENCE ON WELDING STAINLESS  
STEEL 304 BY USING U-BEND STRESS ON LOAD TANK  
OF CHEMICAL TANKER**

INTAN PRATIWI

NRP. 4111 100 095

Supervisor

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

## LEMBAR PENGESAHAN

# STUDI PENGARUH KETAHANAN *STRESS CORROSION* *CRACKING (SCC)* PADA PENGELASAN *STAINLESS* *STEEL 304* DENGAN METODE *U-BEND STRESS* PADA TANGKI RUANG MUAT *CHEMICAL TANKER*

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**INTAN PRATIWI**

N.R.P. 4111 100 095

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

**Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**



**SURABAYA, 8 JULI 2015**

**STUDI PENGARUH KETAHANAN *STRESS CORROSION*  
*CRACKING (SCC)* PADA PENGELASAN *STAINLESS STEEL*  
304 DENGAN METODE *U-BEND STRESS* PADA TANGKI  
RUANG MUAT *CHEMICAL TANKER***

Nama Mahasiswa : Intan Pratiwi  
NRP : 41 11 100 095  
Jurusan : Teknik Perkapalan FTK-ITS  
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

**ABSTRAK**

Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*) merupakan suatu baja yang tahan terhadap korosi. *Stainless Steel* biasa digunakan pada peralatan maupun struktur untuk konstruksi. Dalam industri perkapalan sendiri *Stainless Steel* yang banyak digunakan adalah *Stainless Steel* jenis 304. Salah satu korosi yang mungkin terjadi adalah *Stress Corrosion Cracking (SCC)*. Korosi ini timbul karena adanya kerentanan paduan, lingkungan ekstrim, dan tegangan sisa.

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui ketahanan akan SCC pada salah satu pengelasan material *Stainless Steel* yaitu *Stainless Steel* jenis 304 dengan menggunakan metode U-bend Stress. Pengujian dilakukan dengan membandingkan timbulnya retak sebagai identifikasi terjadinya SCC pada base metal dan weld metal. Dimana pengujian ini mengacu pada ASTM G-30 (*Making and Using U-bend Stress Corrosion Cracking*), ASTM G-36 (*Practice for Performing Stress Corrosion Cracking Test in a Boiling Magnesium Chloride Solution*), dan ASTM G-58 (*Preparation of Stress Corrosion Cracking Test Specimens For Weldments*).

Dari hasil pengujian yang telah divariasikan dengan lamanya waktu pengujian, dapat diketahui bahwa panjang retak maksimum pada base metal adalah 0.445 mm, sedangkan panjang retak maksimum pada weld metal yaitu 0.468 mm. Kemudian untuk jumlah retak maksimum yang timbul pada base metal adalah 3 retak, sedangkan jumlah retak maksimum yang timbul pada weld metal yaitu 5 retak. Dengan adanya retak-retak yang timbul maka dapat disimpulkan bahwa pengujian Stress Corrosion Cracking (SCC) dengan metode ini mampu diterapkan pada *Stainless Steel* jenis 304, sehingga dapat diketahui jumlah retak dan panjang retak yang terjadi.

Kata Kunci: *Stainless Steel*, U-bend, SCC, HCl, retak.

# **THE STUDY OF STRESS CORROSION CRACKING (SCC) RESISTANCE INFLUENCE ON WELDING STAINLESS STEEL 304 BY USING U-BEND STRESS ON LOAD TANK OF CHEMICAL TANKER**

Nama Mahasiswa : Intan Pratiwi  
NRP : 41 11 100 095  
Jurusan : Teknik Perkapalan FTK-ITS  
Dosen Pembimbing : Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

## **ABSTRACT**

Stainless Steel is a corrosion resistant material. Stainless Steel is used on equipment and structures of construction. In the ship building industry, stainless steel that widely used is type 304. One of corrosion that may occur is stress corrosion cracking (SCC). This corrosion arises because of the vulnerability of the alloy, extreme environments, and residual stress.

The purpose of this research is to study the resistance of SCC on welding one of the stainless steel material which is stainless steel type 304 using U-bend Stress Method. This test is done with comparing SCC showing on base metal and weld metal. It's based on ASTM G-30 (*Making and Using U-bend Stress Corrosion Cracking*), ASTM G-36 (*Practice for Performing Stress Corrosion Cracking Test in a Boiling Magnesium Chloride Solution*), and ASTM G-58 (*Preparation of Stress Corrosion Cracking Test Specimens For Weldments*).

From the test result which is variated with the testing duration, it showed in the interval time 0-24 hours with HCl the length of maximum crack in base metal is 0.445 mm. Then, the length of maximum crack in weld metal is 0.468 mm. The number of crack in base metal is three crack, and for the number of crack in weld metal is five crack. The result of the test can be concluded that the U-bend Test Method can be used on Stainless Steel 304, so can be known the number of cracks and the crack length.

Key Word: Stainless Steel, U-bend, SCC, HCl, crack.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Studi Pengaruh Ketahanan Stress Corrosion Cracking (SCC) pada Pengelasan Stainless Steel 304 dengan Metode U-Bend Stress pada Tangki Ruang Muat Chemical Tanker”** dengan baik. Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh ilmu pengetahuan.

Selesaiannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai.

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, ilmu, untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan tugas akhir.
2. Papa Wawan Sulaeman, S.T., Mama Rosidah Oktiani serta adik-adik Andano Sulaeman dan Aldino Febian selaku keluarga penulis yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya.
3. Bapak M. Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
4. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
5. Staf Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
6. Staf Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

7. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si selaku Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik Jurusan Kimia FMIPA-ITS, yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan Laboratorium untuk penelitian.
8. Keluarga P-51 (CENTERLINE) yang selalu menemani dan mendukung.
9. Teman-teman Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik Jurusan Kimia FMIPA-ITS yang telah banyak membantu penulis selama penelitian, terutama Dian Ayu terima kasih banyak untuk dukungan morilnya selama ini.
10. Teman-teman Manajemen Bisnis ITS, Yolanda Suciati, Fitriana Azizah, Sharfina Febriani, terima kasih untuk dukungan morilnya dan waktu yang sudah diberikan selama ini.
11. Sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan dukungan moril dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.
12. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta kelak ada usaha untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Penulis

Surabaya, 8 Juli 2015

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
LEMBAR REVISI .....	ii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah .....	2
I.3 Batasan Masalah .....	2
I.4 Tujuan .....	3
I.5 Manfaat .....	3
I.6 Hipotesis Awal .....	3
I.7 Metodologi .....	3
BAB II .....	6
TINJAUAN PUSTAKA .....	6
II.1 Stainless Steel .....	6
II.1.1 Jenis Stainless Steel .....	6
II.2 Pengelasan Stainless Steel .....	7
II.2.1 Pengelasan .....	7
II.2.2 Definisi Pengelasan .....	8
II.2.3 Klasifikasi Pengelasan .....	8
II.2.4 Metalurgi Pengelasan .....	9
II.3 Pengelasan Smaw (Shield Metal Arc Welding) .....	11
II.3.1 Prinsip Pengelasan SMAW .....	11
II.4 Korosi .....	12



II.4.1 Prinsip Dasar Terjadinya Korosi .....	13
II.5 Stress Corrosion Cracking (SCC).....	14
II.5.1 Proses Terjadinya Korosi Tegangan.....	15
II.5.2 Pengujian SCC .....	16
II.6 Constant Stress or Constant Displacement Test (U-Bend Test).....	17
BAB III .....	19
METODOLOGI PENELITIAN .....	19
III.1 Diagram Alur Penelitian .....	19
III.2 Prosedur Pengelasan.....	20
III.2.1 Logam Induk .....	20
III.2.2 Elektrode .....	21
III.3 Pembuatan Spesimen Uji .....	22
III.3.1 Pembuatan Spesimen U-Bend.....	24
III.4 Pengujian SCC .....	28
III.5 Hasil Pengujian .....	29
III.5.1 Form Pengujian .....	30
BAB IV .....	31
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	31
IV.1 Hasil Pengujian .....	31
IV.1.1 Spesimen sebelum pengujian.....	32
IV.2 Data Hasil Pengujian.....	37
IV.2.1 Rekapitulasi.....	39
BAB V.....	43
KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
V.1 Kesimpulan .....	43
V.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA .....	44
LAMPIRAN.....	45

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1 Kodifikasi baja tahan karat .....	6
Tabel 4.1 Data hasil pengujian selama 6 jam.....	37
Tabel 4.2 Data hasil pengujian selama 12 jam.....	37
Tabel 4.3 Data hasil pengujian selama 18 jam.....	38
Tabel 4.4 Data hasil pengujian selama 24 jam.....	38
Tabel 4.5 Rata-rata jumlah retak terhadap waktu .....	39
Tabel 4.6 Rata-rata panjang retak terhadap waktu .....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	5
Gambar 2.1. Typical Stress U-Bend yang akan digunakan. ....	18
Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	19
Gambar 3.2. Logam Induk yang digunakan untuk pengujian.....	21
Gambar 3.3. Ukuran base metal yang digunakan untuk pengelasan.....	21
Gambar 3.4. Ukuran pembagian potongan spesimen uji base metal. ....	22
Gambar 3.5. Ukuran pembagian potongan specimen uji weld metal. ....	23
Gambar 3.6. Pembuatan spesimen dengan mesin bending. ....	24
Gambar 3.7. Proses pembuatan spesimen dengan mesin bending. ....	24
Gambar 3.8. Base metal yang akan dibentuk spesimen U-bend. ....	25
Gambar 3.9. Weld metal yang akan dibentuk spesimen U-bend. ....	26
Gambar 3.10. Spesimen U-bend tanpa pengelasan.....	26
Gambar 3.11. Spesimen U-bend dengan pengelasan. ....	27
Gambar 3.12. Spesimen U-bend tanpa pengelasan.....	27
Gambar 3.13. Spesimen U-bend dengan pengelasan. ....	28
Gambar 3.14. Spesimen uji setelah dianalisa.....	29

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 LATAR BELAKANG**

Dalam dunia industri khususnya industri perkapalan, penggunaan material baja mutlak diperlukan sebagai penunjang proses industri. Baja adalah suatu struktur yang mempunyai kekuatan dan ketahanan yang cukup tinggi. Salah satu jenis baja adalah *Stainless Steel*. Jenis baja tahan karat austenik yang biasa digunakan dalam dunia industri adalah *jenis 304*. Jenis *Stainless Steel* seperti ini biasa digunakan pada peralatan ataupun struktur untuk konstruksi dan juga diperlukan oleh pabrik-pabrik. Dalam industri perkapalan sendiri *Stainless Steel jenis 304* banyak digunakan untuk pembuatan railing, cerobong, poros propeller, dan juga tangki ruang muat pada kapal tanker.

Seperti yang diketahui bahwa korosi adalah musuh alami dari hampir semua logam termasuk *Stainless Steel* dan paduannya. *Stainless Steel* dipilih karena lebih memenuhi dari segi kekuatan konstruksi dan juga lebih tahan terhadap korosi. Akan tetapi *Stainless Steel* adalah suatu baja yang tahan korosi bukan anti korosi, jadi ada kemungkinan dapat terjadi korosi pada *Stainless Steel*. Apalagi ditunjang dengan adanya air laut sebagai media berlayar suatu kapal yang merupakan media korosif.

Stress corrosion cracking (SCC) merupakan salah satu jenis korosi yang berbahaya karena dapat berujung pada kegagalan suatu material. Korosi ini timbul karena adanya kerentanan paduan, lingkungan ekstrim (korosi), dan tegangan. Pada pengujian ini lingkungan korosif yang digunakan adalah dengan menggunakan larutan HCl pekat 37%. Pemilihan larutan HCl dikarenakan HCl merupakan larutan klorida yang dapat menciptakan lingkungan ekstrim untuk menimbulkan korosi. Selain itu juga pemilihan larutan HCl pada pengujian kali ini dikarenakan larutan HCl merupakan larutan yang sering dimuat pada kapal chemical tanker. SCC diidentifikasi dengan timbulnya retak pada permukaan material, yang kemudian seiring

dengan berjalannya waktu retak menjalar sehingga mengakibatkan terjadinya kegagalan pada suatu material ataupun konstruksi. Korosi jenis ini sangat membahayakan dan sulit dihentikan karena merupakan proses yang terjadi secara alami, kecuali jika salah satu dari penyebab korosi ini dihilangkan. Oleh karena itu antisipasi yang dilakukan adalah dengan mengurangi faktor utama penyebab SCC yaitu tegangan, sehingga yang diharapkan oleh penulis yaitu dapat mengetahui jumlah dan panjang retak yang terjadi pada stainless steel 304 dan dapat diaplikasikan pada dunia perkapalan yaitu pada pembuatan tangki ruang muat pada kapal tanker.

## **I.2 PERUMUSAN MASALAH**

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Dapatkan stainless steel 304 diuji menggunakan metode U-bend stress?
2. Berapa jumlah retak terjadi pada setiap material akibat pengujian SCC?
3. Berapa panjang retak yang terjadi pada setiap material akibat pengujian SCC?

## **I.3 BATASAN MASALAH**

Batasan-batasan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Material pelat yang digunakan adalah stainless steel type 304 dengan tebal 4 mm.
2. Pengelasan yang digunakan adalah memakai proses SMAW
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan U-Bend Test.
4. Larutan konsentrasi HCl yang digunakan adalah pada larutan konsentrasi tertinggi yaitu 37%.
5. Untuk pengukuran spesimen diambil pada selang waktu 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam.
6. Daerah retakan yang diamati adalah daerah puncak kelengkungan U-bend.

#### **I.4 TUJUAN**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui bahwa metode U-Bend Stress (ASTM G-30) dapat digunakan pada Stainless Steel type 304.
2. Mengetahui jumlah retak yang timbul.
3. Mengetahui panjang retak yang timbul.

#### **I.5 MANFAAT**

Manfaat yang diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini dapat diketahui jumlah retak dan panjang retak yang terjadi pada Stainless Steel 304 akibat pengujian SCC dengan metode U-Bend Stress, yang nantinya dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam pengujian SCC di samping metode yang sudah ada dan juga dapat menjadi alternatif dalam pemilihan material dalam pembangunan kapal.

#### **I.6 HIPOTESIS AWAL**

Dalam pengujian SCC dengan menggunakan metode U-Bend Stress dapat diketahui retak yang terjadi pada masing-masing material dalam waktu pengujian yang berbeda. Semakin lama waktu pengujian maka material akan semakin terkorosi, sehingga akan menimbulkan retak yang semakin banyak pula.

#### **I.7 METODOLOGI**

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini meliputi:

1. Identifikasi Masalah

Menentukan permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini, yaitu pengujian SCC pada Stainless Steel 304 dengan metode U-bend stress dengan pengelasan SMAW.

## 2. Studi Literatur

Pemahaman materi-materi terkait yang bisa membantu pengerjaan tugas akhir ini. Dalam hal ini meliputi pemahaman dasar teori mengenai pengelasan material Stainless Steel 304 serta pemahaman mengenai pengujian SCC dengan menggunakan metode U-bend stress berdasarkan literatur-literatur yang sesuai dengan permasalahan yang ada

## 3. Pengujian Material

Meliputi :

- Pengelasan pada salah satu pelat
- Pemotongan pelat dan pembuatan spesimen U (berdasarkan ASTM G-30 dan ASTM G-58)
- Pengujian SCC
- Pencatatan hasil pengujian SC

## 4. Pengolahan Hasil Pengujian

Data yang dihasilkan dari pengujian direkapitulasi serta dilakukan perhitungan.

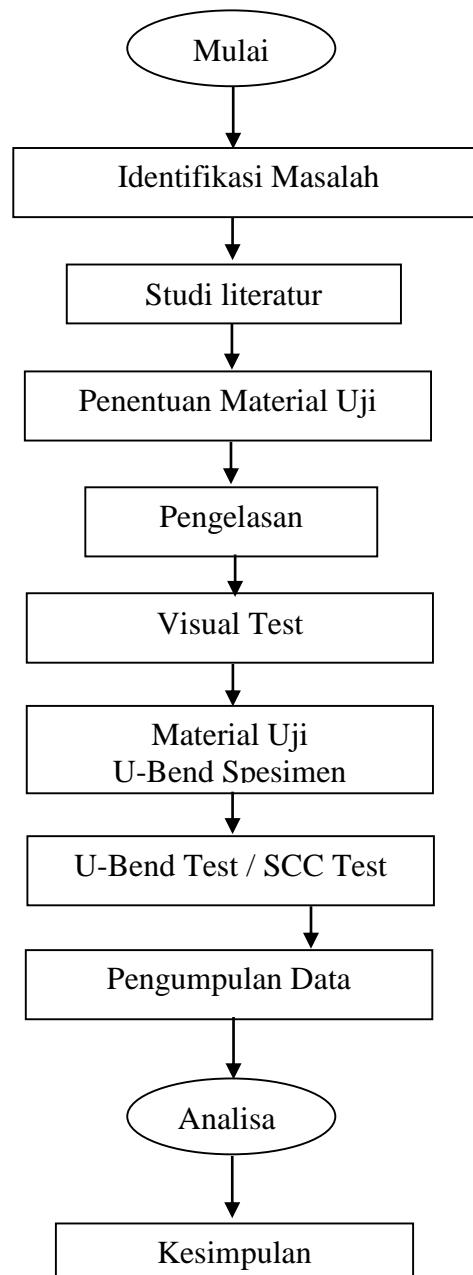
## 5. Analisa data

Pada tahap ini dilakukan analisa data dengan memasukkan data percobaan dan pembahasan. Dalam pengambilan data pada pengujian SCC ini yaitu dengan menganalisa jumlah retak dan panjang retak yang muncul pada daerah  $90^\circ$  di daerah puncak kelengkungan.

## 6. Pengambilan kesimpulan

Menarik kesimpulan berdasarkan hasil dari analisa data.

Metode dari langkah-langkah diatas dapat ditampilkan dalam bentuk diagram, seperti berikut ini :



Gambar 1.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 STAINLESS STEEL

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan Stainless Steel adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10.5% kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Komposisi ini membentuk protective layer (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (Ferum). Tentunya harus dibedakan mekanisme protective layer ini dibandingkan baja yang dilindungi dengan coating (misal Seng dan Cadmium) ataupun cat. [Rokhim S,1991]

Tabel. 1.1 Kodifikasi baja tahan karat.

Series	Group	Properties
2xx	Chromium-nickel-manganese	Nonhardenable, Austenit, Nonmagnetic
3xx	Chromium-nickel	Nonhardenable, Austenitic, Nonmagnetic
4xx	Chromium	Hardenable, Martensit, Magnetic
4xx	Chromium	Nonhardenable, Ferritic, Magnetic
5xx	Chromium	Low Chromium

##### II.1.1 Jenis Stainless Steel

Meskipun seluruh kategori Stainless Steel (SS) didasarkan pada kandungan krom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat SS sesuai aplikasinya. Kategori SS tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya. Menurut sifat kimia dari stainless steel lima golongan utama SS adalah Austenitic, Ferritic, Martensitic, Duplex dan Precipitation Hardening SS.

Stainless Steel 304 masuk kedalam golongan Austenitic Stainless Steel. Austenitic SS mengandung sedikitnya 16% Krom dan 6% Nikel (grade standar untuk 304). Tambahan Molybdenum (Mo), Titanium (Ti) atau Copper (Co) berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap temperatur serta korosi. Austenitic cocok juga untuk aplikasi temperature rendah disebabkan unsur Nikel membuat SS tidak menjadi rapuh pada temperatur rendah.

Sifat-sifat Dasar Baja Austenitic, yaitu :

- Daya tahan korosi yang sangat bagus dalam asam organik, industri, dan lingkungan laut
- Kemampuan mengelas yang sangat bagus (semua proses)
- Kemampuan membentuk, kemampuan pembuatan dan sifat kenyal yang sangat bagus
- Sifat-sifat suhu tingginya bagus dan suhu rendahnya sangat bagus (kekerasan tinggi pada semua suhu)
- Tidak mengandung magnit (jika dikuatkan)
- Dapat dikeraskan hanya dengan dibentuk profil logam dengan temperatur dingin (logam-logam campuran ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas)

## **II.2 PENGELASAN STAINLESS STEEL**

### **II.2.1 Pengelasan**

Teknik pengelasan telah banyak digunakan dalam proses penyambungan batang-batang atau pelat pada konstruksi bangunan baja. Banyaknya penggunaan teknologi las pada proses penyambungan logam dikarenakan bangunan dan mesin yang dibuat dengan menggunakan teknik ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhan menjadi lebih murah. Penggunaan proses las dalam konstruksi sangat banyak, meliputi perkapalan, jembatan, rangka bejana tekan, perpipaan, dan lain sebagainya. Disamping itu proses las dapat digunakan untuk merepair atau memperbaiki, misalnya untuk menambal lapisan yang sudah aus.

## II.2.2 Definisi Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan seacara: dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), hanya dengan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). [<http://www.api-iws.org>]

Sedangkan definisi pengelasan menurut British Standards Institution, pengelasan adalah proses penyambungan antara dua atau lebih material dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau dengan tekanan (*pressure*) atau keduanya. Logam pengisi (*filler metal*) dengan temperatur lebur yang sama dengan titik lebur dari logam induk dapat atau tanpa digunakan dalam proses penyambungan tersebut.

## II.2.3 Klasifikasi Pengelasan

Pada saat ini belum ada kesepakatan mengenai cara-cara pengklasifikasian dalam bidang las. Secara konvensional pengklasifikasian tersebut dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan [Wiryosumarto, 2000]. Diantara kedua klasifikasi tersebut, klasifikasi berdasarkan cara kerja yang paling banyak digunakan.

Berdasarkan pengklasifikasian cara kerja, proses pengelasan dibagi menjadi tiga kelas utama, yaitu : [Wiryosumarto, 2000].

### 1. Pengelasan Cair

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

### 2. Pengelasan Tekan

Cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

### 3. Pematrian

Cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam lain yang memiliki titik cair yang rendah. Dalam proses ini logam induk tidak ikut mencair.

## **II.2.4 Metalurgi Pengelasan**

Dalam lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (Heat Affected Zone) dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tidak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las [Wiryosumarto,2000]. Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaan yang terjadi adalah kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi, sumber panas dalam las bergerak terus, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus, pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk dan logam las harus menjadi satu dengan logam induk.

Pada proses pembekuan logam las terjadi 3 (tiga) proses reaksi metalurgi, proses tersebut adalah: [Wiryosumarto,2000].

### **1. Pemisahan**

Di dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar

## 2. Vaporisasi

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Lubang-lubang tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembentukan gas sebagai berikut:

1. Pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan.
2. Terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia didalam logam las.
3. Penyusupan gas ke dalam atmosfer busur

Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam baja adalah gas hidrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terjadi karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las.

## 3. Oksidasi

Oksidasi menghasilkan gas-gas atau oksida-oksida yang mengakibatkan mutu las menjadi rendah, misal karena mudah timbul korosi, menyebabkan adanya rongga-rongga dalam logam las kegetasan bahan bertambah atau berkurangnya kekuatan logam las. Sebenarnya hanya sejumlah kecil oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut dalam baja sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen dari larutan biasanya dilakukan usaha-usaha seperti melepaskan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut proses deoksidasi. Ketangguhan logam las turun dengan naiknya kadar oksigen, oleh karena itu harus selalu diusahakan agar logam las mempunyai kadar oksigen serendah-rendahnya. Usaha penurunan oksigen ini dapat dilakukan dengan menambah unsur-unsur yang bersifat deoksidasi seperti Si, Mn, Al dan Ti atau menaikkan kebasaan dari terak lasnya. Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

## II.3 PENGELASAN SMAW (Shield Metal Arc Welding)

### II.3.1 Prinsip Pengelasan SMAW

Las listrik SMAW adalah proses pengelasan dengan busur nyala listrik, dimana panas di dapat dari busur nyala yang memancar antara elektrode dengan selubung fluks dan benda kerja. Elektrode tip, daerah las nyala dan sekitar molten metal dilindungi dari pengotoran udara sekeliling dengan adanya gas yang terjadi karena pembakaran dan penguraian dari fluks. Sedangkan molten metal mendapat tambahan perlindungan dari adanya molten slag.

Busur nyala listrik (*Electric Arc*) adalah elektron yang continue mengalir melalui media yang pendek antara dua elektroda (- dan +) yang diketahui dengan terjadinya energi panas dan radiasi udara atau gas antara elektroda akan diionisir oleh elektron yang dipancarkan oleh katoda. Untuk menimbulkan busur nyala listrik, elektroda dihubungkan singkat dengan cara disentuhkan lebih dahulu dan pada bagian yang bersentuhan ini akan terjadi pemanasan, hal ini mendorong terjadinya busur.

Inti logam elektroda meneruskan energi listrik ke busur api dan dilebur bersama-sama dengan lapisan fluks yang membentuk tetesan lebur antara logam dan fluks. Busur api sekarang terdiri dari daerah gas bertemperatur sangat tinggi terutama yang diperoleh dari lapisan fluks. Kekuatan busur api, dibantu oleh gravitasi dan tegangan permukaan, memindahkan tetesan lebur ke dalam genangan las di mana kemudian membeku di bawah tutup pelindung fluks yang mengeras, yang sekarang disebut terak. Fluks juga memberikan suatu perisai gas yang melindungi logam cair terhadap ujung elektroda dan genangan las cair. Lagi pula fluks memberikan garam yang menyediakan partikel-partikel ionisasi untuk membantu penyalaan kembali busur api tersebut.

Fungsi lapisan elektroda dapat diringkaskan sebagai berikut : [W.Kenyon, 1978]

- Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair dan dengan demikian mencegah oksigen dan nitrogen dari udara memasuki logam las.

- Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol.
- Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan.
- Menyediakan terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan pendinginan logam las dan dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
- Membantu mengontrol ukuran dan frekuensi tetesan logam las.

## II.4 KOROSI

Korosi dapat diartikan sebagai suatu perubahan material karena bereaksi dengan lingkungannya. Lingkungan yang menyebabkan kerusakan pada material disebut lingkungan korosif, yang terbagi dalam beberapa bagian [Fontana, 1987] :

- Lingkungan udara berupa air, destilasi bergaram dan air mineral,
- Polutan industri yang terdiri dari uap air, gas-gas seperti amoniak, hidrogen sulfida, klorin, asam-asam organik,
- Minyak, dan
- Lingkungan bersuhu tinggi.

Tiap logam maupun paduannya yang bercampur dan bereaksi dalam suhulingkungan korosif akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Struktur Material
2. Deformasi Plastis dan Deformasi Elastis
3. Bentuk Permukaan Logam
4. Sifat-sifat elektrolit
5. Gerakan Elektrolit

Menurut jenis reaksinya, korosi dapat digolongkan sebagai korosi kimia (Chemical Corrosion) dan korosi elektrokimia (Electrochemical Corrosion). Korosi kimia terjadi secara murni karena reaksi kimia tanpa adanya cairan elektrolit, biasanya terjadi pada suhu yang relatif tinggi atau dalam lingkungan udara yang kering. Sebaliknya korosi elektrokimia biasanya terjadi pada lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah dengan berbagai

bentuk korosi yang berbeda, mengikuti mekanisme elektrokimia yaitu terjadi reaksi oksidasi (reaksi anodic) dan reaksi reduksi (reaksi katodik). Korosi ini sering terjadi secara merata pada permukaan / local pada daerah tertentu sehingga seringkali menjadi masalah yang sangat serius di dunia industri.

#### II.4.1 Prinsip Dasar Terjadinya Korosi

Korosi terjadi akibat adanya reduksi dan oksida (redoks) antara material dan lingkungannya. Reaksi reduksi adalah reaksi yang menggunakan elektron dan reaksi oksidasi adalah reaksi yang menghasilkan elektron.

Proses elektrokimia pada suatu material yang berada dalam lingkungan korosif, secara umum dapat digambarkan sebagai berikut :

- Reaksi pada anode, yaitu terjadinya oksidasi logam yang melepaskan elektron

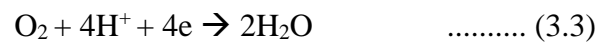


- Reaksi pada katode, secara umum terdapat beberapa bentuk reaksi katode yaitu :

1. Evolusi hidrogen dengan reaksi :



2. Reduksi oksigen (pada larutan-larutan asam) dengan reaksi :



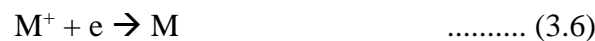
3. Reduksi oksigen (pada larutan-larutan basa) dengan reaksi :



4. Reduksi ion logam dengan reaksi :



5. Metal deposition dengan reaksi :



Evolusi hidrogen adalah reaksi yang umum terjadi pada larutan yang berhubungan dengan udara yang mampu menghasilkan reaksi, sedangkan reaksi reduksi ion logam dan deposition adalah reaksi yang jarang terjadi. Namun reaksi-reaksi di atas sama menerima elektron.



## II.5 Stress Corrosion Cracking (SCC)

Gaya-gaya mekanis seperti kompresi (compressive) atau tarikan (tensile) berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan pada bagian metal yang sama jika ditinjau dari laju pengkaratan dalam mils per tahun. Namun demikian apabila itu merupakan kombinasi antara tegangan tarik (tensile stress) dan lingkungan yang korosif, maka kondisi ini merupakan salah satu dari penyebab utama kegagalan material. Kegagalan ini berupa retakan yang lazim disebut Stress Corrosion Cracking.

Stress corrosion cracking merupakan salah satu dari 3 jenis crack yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan. SCC memiliki ciri-ciri utama seperti yang telah dijabarkan oleh Brown [Tretheway, 1991]:

1. Bahwa tegangan tarik harus ada. SCC merupakan hasil kerjasama antara tegangan dan korosi. Bilamana salah satu dari unsur-unsur itu tidak ada, masalah tidak akan timbul. Tegangan mungkin saja terjadi ketika komponen sedang operasional. Tetapi mungkin juga komponen itu telah memilikinya sejak tahapan fabrikasi atau instalasi.
2. Pada umumnya logam paduan lebih rentan terhadap serangan korosi tersebut dibanding dengan logam murni kecuali beberapa logam tersebut, misal tembaga.
3. Peretakan pada logam tertentu yang teramati hanya disebabkan oleh sedikit saja unsur kimia di lingkungannya dan unsur-unsur itu tidak perlu dalam konsentrasi besar.
4. Bila tegangan tidak ada, paduan biasanya kebal terhadap unsur yang sama dalam lingkungan yang semestinya menyebabkan peretakan.
5. Bila bahan bersifat mulur, korosi retak tegang mempunyai penampakan seperti perpatahan rapuh.
6. Biasanya tegangan ambang batas dapat ditentukan, dibawah tegangan itu SCC tidak akan terjadi.

### **II.5.1 Proses Terjadinya Korosi Tegangan**

Proses terjadinya korosi tegangan (Stress Corrosion) terbagi dalam 2 (dua) tahap, yaitu [Schijve,1982] :

1. Tahap pemicuan (Crack Nucleation Periode)
2. Tahap penjaralan retak (Crack Propagation Periode)

#### **II.5.1.1 Tahap Pemicuan**

Dalam tahap pemicuan, korosi memegang peranan yang besar. Korosi diawali pada permukaan material yang dikenal dengan korosi basah, perbedaan potensial pada material tersebut akan menimbulkan reaksi anodik dan katodik. Banyak perbedaan potensial pada tingkat mikro, terutama pada daerah batas butiran. Beda potensial juga dapat disebabkan oleh variasi elektrolit (kandungan  $O_2$ ). Hal ini diperkirakan terjadi pada crevice corrosion dan pitting corrosion. Pada permukaan yang seharusnya dalam kondisi halus kini telah terbentuk cacat-cacat lokal. Hal ini terjadi akibat adanya mekanisme tegangan yang melebihi tegangan luluh bahan menyebabkan deformasi plastis. Pada kondisi seperti ini ikatan-ikatan struktur logam terputus sehingga logam berubah bentuk secara permanen. Mekanisme ini disebut mekanisme pembentukan atau dislokasi yang terus berlanjut sehingga mencapai batas bahan. Cacat-cacat lokal ini disebut undakan sesar (*slip step*) dan merupakan bagian yang rentan terhadap korosi. Di mana selaput tipis oksida korosi atau bahan pelindung lain akan tersingkap sehingga bagian ini akan menjadi lebih anodik dibanding sekelilingnya.

Korosi adalah proses yang kompleks, yang banyak dipengaruhi oleh jenis material, struktur material, dan lingkungan. Dalam tahap pemicuan ini korosi adalah proses dasar, tetapi pada tingkat mikro penembusan korosi pada material telah terjadi. Dalam banyak kasus terjadi sepanjang batas butiran. Pada tahap pemicuan ini pengaruh tegangan tarik tidaklah besar. Tetapi tegangan ini berpengaruh terhadap potensial listrik dalam material.

### II.5.1.2 Tahap Penjalaran Retak

Jika kondisi tersebut ada, korosi permukaan atau dasar akan diproses untuk penembusan lebih dalam terhadap material dan periode penjalaran retak dimulai. Adanya tegangan tarik akan mempercepat retak pada tingkat lebih tinggi. Tegangan tarik akan membuka retak dan memberi kesempatan elektrolit masuk sampai pada ujung retak. Tegangan tarik juga dapat menyebabkan beberapa kekenyalan yang akan memperbesar sifat anodik material. Kontribusi utama dari tegangan tarik adalah untuk meningkatkan kecepatan perambatan retak. Hal ini tidak sepenuhnya menjelaskan bagaimana tegangan tarik mempercepat mekanisme pertumbuhan retak. Dalam beberapa material *Stress Corrosion Cracking* tumbuh lebih atau kurang kontinu, tetapi pada material lain kadang nampak terjadi lompatan kecil.

### II.5.2 Pengujian SCC

Pada pengujian SCC diperlukan adanya faktor-faktor yang dapat mendukung terjadinya SCC, seperti : pengaruh tegangan, lingkungan yang kritis dan kerentanan paduan. Tegangan yang diberikan dapat berupa static load atau dynamic load. Static load yang diberikan untuk pengujian ini yaitu berupa U-Bend Method. Untuk dynamic load pemberian bebannya adalah dengan menggunakan mesin fatigue sehingga lebih dikenal dengan Fatigue Corrosion Cracking (FCC). Lingkungan yang kritis umumnya adalah lingkungan korosif dimana dikombinasikan dengan adanya peningkatan temperatur lingkungan. Sedangkan untuk kerentanan paduan biasanya berupa impuritas atau kemurnian dari material baik akibat dari proses pembentukan material maupun proses produksi. [ASTM G30, 1994]

Pemilihan metode pengujian SCC dengan U-Bend Method didasarkan pada :

1. Jenis material yang digunakan adalah material Stainless Steel 304 dengan tebal 4 mm.
2. Lingkungan kritis yang digunakan adalah dengan menggunakan larutan HCl. Dalam pemilihan larutan untuk pengujian SCC ini berdasarkan larutan yang biasa diangkut pada kapal chemical tanker. Dimana sepesimen uji harus

dimasukkan kedalam beaker. Oleh karena itu ukuran spesimen ujinya harus menyesuaikan dengan alat pengujinya yaitu spesimen bentuk U yang berukuran kecil yang dapat masuk kedalam beaker tersebut. Selain itu pemilihan larutan HCl sebagai metode pembuatan lingkungan yang kritis didasarkan pada sifat dari Stainless Steel 304 yang memiliki ketahanan SCC yang baik sehingga memerlukan suatu lingkungan kritis yang efektif. [ASTM G36, 1994]

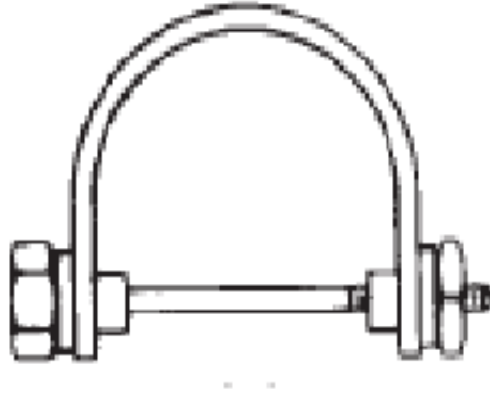
## **II.6 Constant Stress or Constant Displacement Test (U-Bend Test)**

Salah satu syarat untuk dapat terjadinya SCC adalah dengan diberikannya tegangan pada material uji. Terdapatnya tegangan memungkinkan terjadinya solution (terdapatnya ion-ion kedalam struktur material). Berawal dari keregangan yang kemudian berlanjut terjadinya SCC sehingga hanya menunggu waktu untuk terjadinya failure/kegagalan dari material, atau membuat perambatan retak pada permukaan material. Beban konstan yang diberikan adalah dengan melakukan bending pada pelat datar sehingga berbentuk U yang kemudian ditahan dengan baut dan mur. [ASTM G30, 1994]

Pembendungan yang dilakukan hingga kurang lebih  $180^\circ$  sehingga material dapat berbentuk U dengan sejajar. Akibat dari pembendungan yang dilakukan, pada material tersebut terdapat tegangan elastic dan plastic. Akan tetapi pada beberapa kasus (misal pada pelat yang sangat tipis dan kawat dengan diameter kecil) dapat dibentuk U-Shape dan hanya menghasilkan tegangan elastis.

Pembentukan U-shape dapat dilakukan pada semua material yang mampu dibentuk U tanpa mengalami crack dalam pembuatannya. Biasanya material yang sering digunakan adalah material yang bersifat ductile. Pembuatan spesimen uji material ini juga mempertimbangkan ukuran dari spesimen dimana disesuaikan dengan alat uji SCC yang digunakan, seperti: lingkungan korosif yang digunakan (larutan HCl), biasanya ini disesuaikan juga dengan jenis material serta wadah atau tempat pengujian. Walaupun penggunaan metode ini memiliki banyak batasan tentang material dan spesimen uji namun metode ini sangat efektif dan

ekonomis dalam membandingkan dua buah material yang berbeda dalam kondisi lingkungan yang sama akan ketahanan SCC nya.



Gambar 2.1. Typical Stress U-Bend yang akan digunakan.

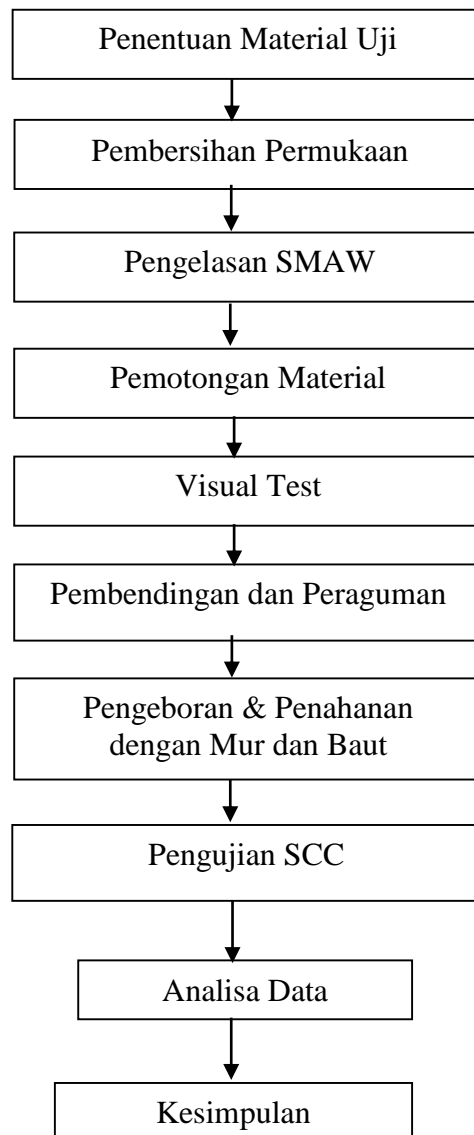
## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini meliputi :

#### **III.1 Diagram Alur Penelitian**

Prosedur penelitian yang dilakukan tersusun dalam diagram yang ditunjukkan dibawah ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian.

### **III.2 Prosedur Pengelasan**

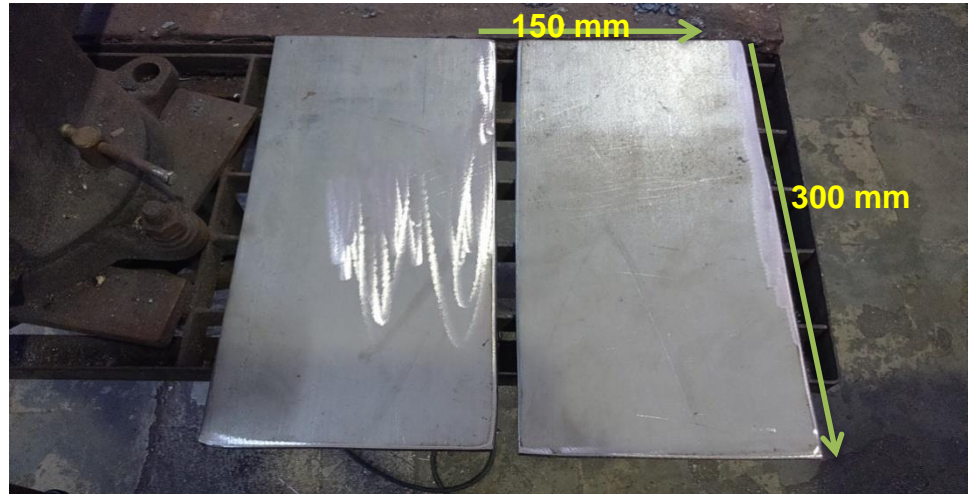
Untuk menghasilkan lasan yang baik, maka diperlukan rancangan prosedur pelaksanaan yang disusun dalam suatu spesifikasi prosedur pengelasan. Variabel-variabel tersebut adalah sebagai berikut :

- Bahan induk : standar, dimensi dan sifat bahan
- Desain sambungan : dalam hal ini berupa alur las
- Bahan las
- Jenis proses
- Cara pelaksanaan : pemilihan parameter pengelasan, posisi pengelasan dan urutan pengelasan
- Perlakuan panas
- Pelaksana (welder)
- Lain-lain yang dianggap perlu dicantumkan

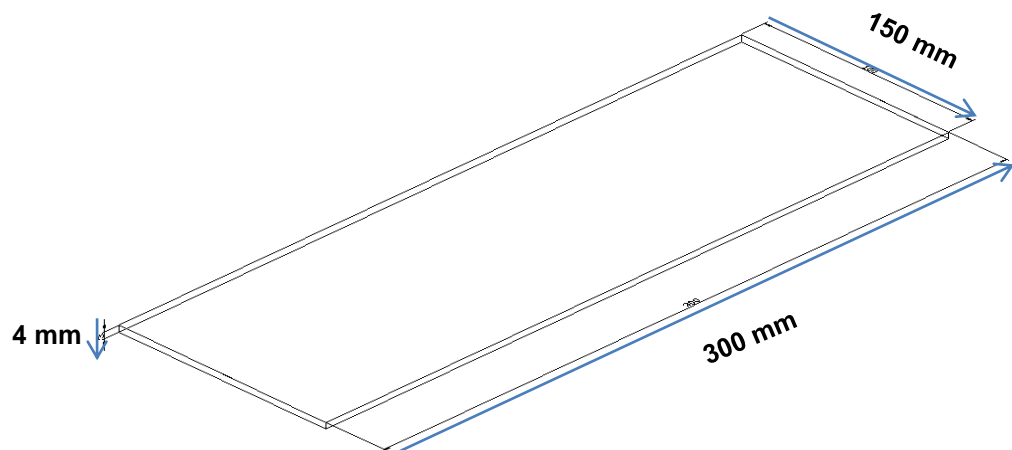
#### **III.2.1 Logam Induk**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Stainless Steel 304 dengan dimensi material sebagai berikut :

1. Panjang : 300 mm
2. Lebar : 150 mm
3. Tebal : 4 mm
4. Jumlah material : 2 buah



Gambar 3.2. Logam Induk yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 3.3. Ukuran base metal yang digunakan untuk pengelasan.

### III.2.2 Elektrode

Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengelasan dengan las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*). Posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G (*Flat Welding Test Position*).



Pada penelitian ini digunakan elektrode dengan spesifikasi sebagai berikut

1. Merk : Nikko Steel
2. Spesifikasi : Stainless Steel NSN-308
3. Klasifikasi : E 308
4. Diameter :  $\varnothing$  3,2 mm

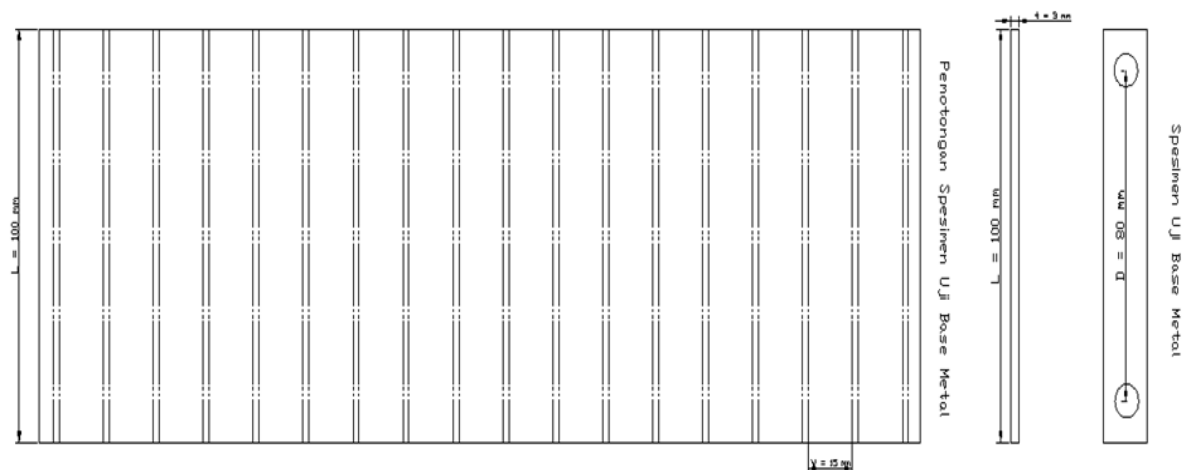
### III.3 Pembuatan Spesimen Uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Stainless Steel 304 baik itu base metal maupun weld metal dimana akan dibuat material uji sebagai berikut :

- Lebar (W) : 15 mm
- Tebal (t) : 4 mm
- Panjang (L) : 150 mm
- Jarak antara D (M) : 80 mm
- Jumlah material spesimen : @ 4 buah

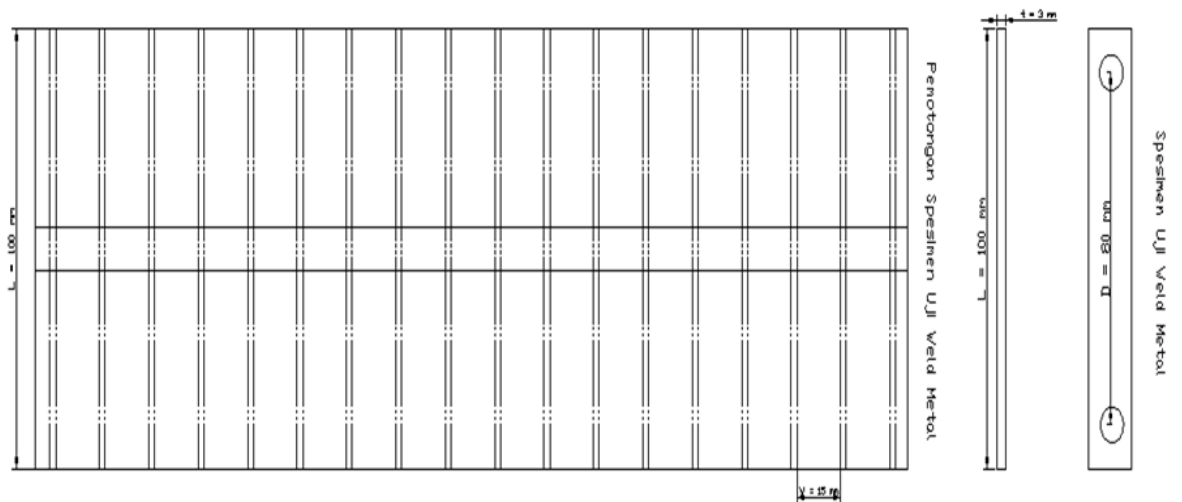
Adapun pengambilan spesimen uji adalah sebagai berikut :

1. Untuk Base Metal



Gambar3.4. Ukuran pembagian potongan spesimen uji base metal.

## 2. Untuk Weld Metal



Gambar 3.5. Ukuran pembagian potongan specimen uji weld metal.

Langkah-langkah pembuatan spesimen uji :

- ✓ Pemotongan spesimen uji dengan menggunakan gergaji potong.
- ✓ Pemberian kurang lebih 2 mm dalam ukuran pemotongan spesimen sebagai toleransi akibat dari pemotongan dan penghalusan dengan gerinda.
- ✓ Penghalusan dengan gerinda bertujuan untuk menghilangkan lelehan baja akibat dari pemotongan.
- ✓ Pembuatan lubang dilakukan dengan pengeboran, dimana mata bor 6 mm.

Material yang akan dibentuk U-Shape adalah material dengan pengelasan dan material tanpa pengelasan. Adapun jumlah dari material yang akan dibentuk U-shape berjumlah 8 spesimen, dengan rincian masing-masing 4 buah spesimen uji untuk material dengan pengelasan dan material tanpa pengelasan.

### III.3.1 Pembuatan Spesimen U-Bend

Proses pembuatan spesimen U-Bend



Gambar 3.6. Pembuatan spesimen dengan mesin bending.



Gambar 3.7. Proses pembuatan spesimen dengan mesin bending.

Urutan dalam pembuatan spesimen U-Bend dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan alat bantu bending yang ada di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Dengan L spesimen= 150 mm, sesuai dengan L minimum yang dapat digunakan pada mesin bending.
2. Bending yang dilakukan kurang lebih  $180^\circ$   
P = Beban (disesuaikan dengan kemampuan spesimen pada saat pengujian)  
D = Diameter mandrel = 20 mm  
H = Tebal spesimen = 4 mm  
L = Jarak penumpu = 35 mm  
Hasil spesimen bending yang telah dilakukan tidak boleh terdapat crack, baik untuk spesimen weld metal maupun base metal.
3. Pelubangan dilakukan pada saat material telah di bending. Dengan menggunakan alat bor listrik yang ada di laboratorium konstruksi dan kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.



Gambar 3.8. Base metal yang akan dibentuk spesimen U-bend.



Gambar 3.9. Weld metal yang akan dibentuk spesimen U-bend.



Gambar 3.10. Spesimen U-bend tanpa pengelasan.





Gambar 3.11. Spesimen U-bend dengan pengelasan.



Gambar 3.12. Spesimen U-bend tanpa pengelasan.



Gambar 3.13. Spesimen U-bend dengan pengelasan.

#### III.4 Pengujian SCC

Pengujian SCC dilakukan dengan memasukkan spesimen U-bend kedalam larutan HCl yang ada pada gelas beaker. Konsentrasi larutan yang digunakan adalah konsentrasi tertinggi dari HCl yaitu pada 37%.

Untuk mengetahui terjadinya retak dan laju perambatannya dilakukan dengan mengamati material uji secara periodik dalam selang waktu 6 jam. Adapun rincian percobaannya adalah sebagai berikut :

1. Larutan HCl dimasukkan kedalam gelas beaker yang telah disediakan di ruang asam.
2. Pembentukan spesimen U-shape dengan bantuan mesin bending dan ragum.
3. Spesimen U-shape dimasukkan kedalam gelas beaker yang telah diisi larutan HCl
4. Setelah 6 jam spesimen U-shape diambil satu per satu dari larutan.
5. Spesimen dibersihkan dengan aquades selama 3-5 menit kemudian dikeringkan.
6. Jumlah retak dihitung dan diukur panjang retak yang terjadi pada spesimen.
7. Hasil data yang diperoleh dicatat.
8. Spesimen dimasukkan kembali kedalam gelas beaker yang berisikan larutan HCl.

9. Langkah 1 s/d 8 dilakukan kembali untuk semua parameter yang ditentukan hingga waktu total 24 jam.

Peralatan yang digunakan :

1. Lemari asam
2. Gelas beaker (sebagai wadah merendam material uji)
3. Pencapit (alat untuk menaruh dan mengambil material uji)
4. Sarung tangan
5. Alat bantu melihat dan mengukur retak :
  - Kaca pembesar
  - Spot check dengan Magnetic Particle Inspection
  - Jangka sorong
  - Penggaris kertas
  - Kamera

### III.5 Hasil Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan maka akan didapatkan hasil berupa jumlah retak dan panjang retak yang timbul. Daerah yang dianalisa adalah daerah sekitar 90° didaerah sekitar puncak kelengkungan.



Gambar 3.14. Spesimen uji setelah dianalisa.



### III.5.1 Form Pengujian

Dibawah ini adalah desain form data untuk mencatat dan mengevaluasi hasil pengujian.

	Spesimen	Konsentrasi	Jumlah retak	Panjang Retak (mm)	rata-rata
Tanpa Pengelasan	B1	37%			
	B2	37%			
	B3	37%			
	B4	37%			
Dengan Pengelasan	W1	37%			
	W2	37%			
	W3	37%			
	W4	37%			

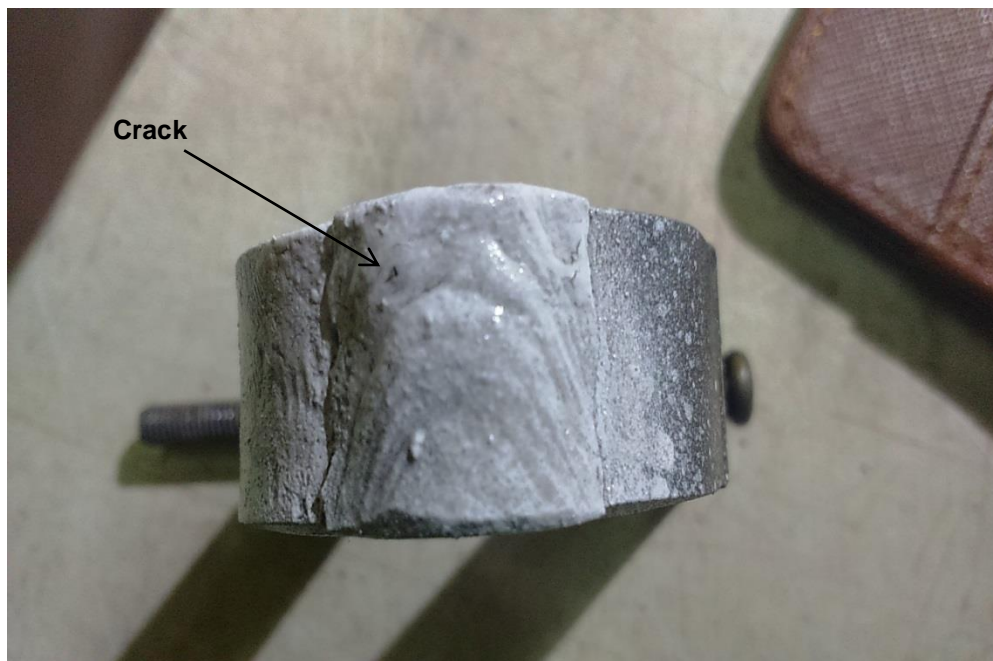
## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Hasil Pengujian

Pengujian SCC yang dilakukan adalah berdasarkan ASTM G-30 (*Making and Using U-Bend Stress Corrosion Test Specimens*). Dimana code ASTM merupakan petunjuk dari pembuatan spesimen uji SCC dengan metode *elastic strain* dengan membentuk spesimen uji U.

Pada pengujian ini SCC diidentifikasi dengan adanya retak yang timbul pada spesimen uji. Dalam pengambilan data pada pengujian SCC ini yaitu dengan menganalisa jumlah retak dan panjang retak yang timbul pada daerah 90° di daerah puncak lengkungan. Pengamatan dari retak yang timbul dilakukan secara visual dengan bantuan pengujian magnetic particle inspection dan kaca pembesar.



Gambar 4.1. Crack yang timbul pada spesimen weld metal.

#### IV.1.1 Spesimen sebelum pengujian

Spesimen untuk larutan HCl 37% pada base metal



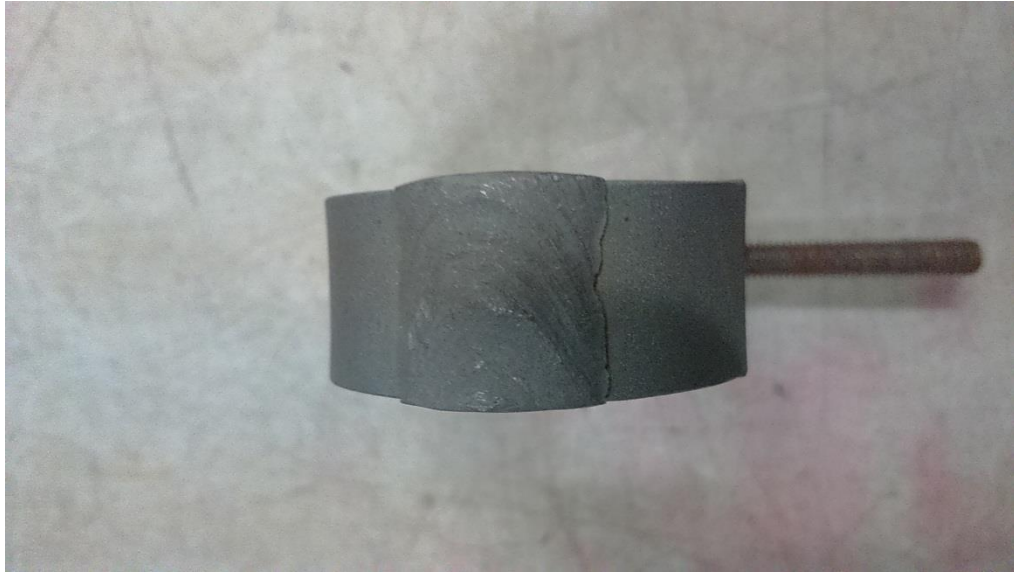
Gambar 4.2. Spesimen pada base metal sebelum pengujian.

Spesimen untuk larutan HCl 37% pada weld metal



Gambar 4.3. Spesimen pada weld metal sebelum pengujian.

#### IV.1.1.1 Hasil pengujian 6 jam



Gambar 4.4. Spesimen pada weld metal setelah pengujian selama 6jam.



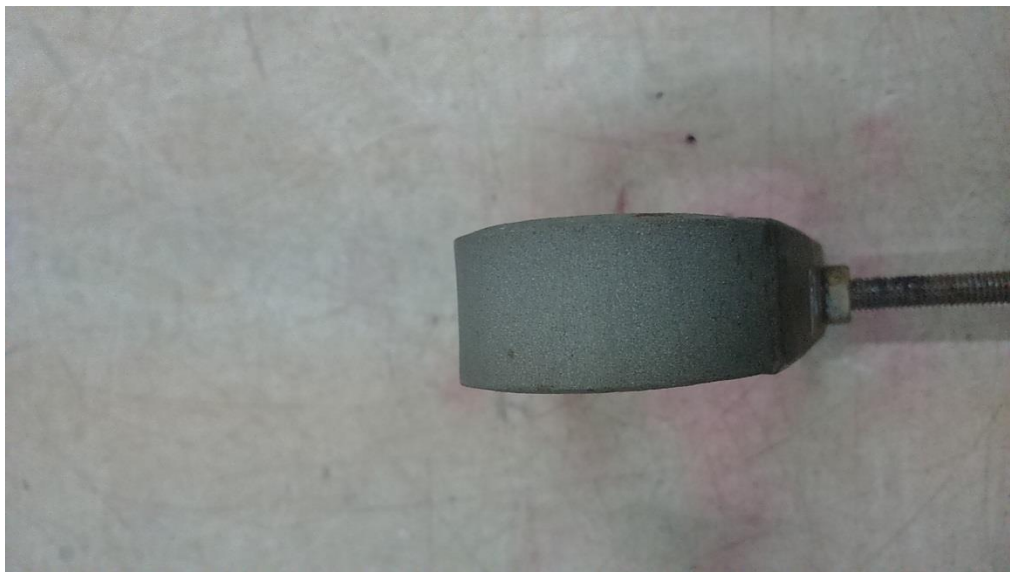
Gambar 4.5. Spesimen pada base metal setelah pengujian selama 6 jam.



#### IV.1.1.2 Hasil pengujian 12 jam



Gambar 4.6. Spesimen pada weld metal setelah pengujian selama 12 jam.

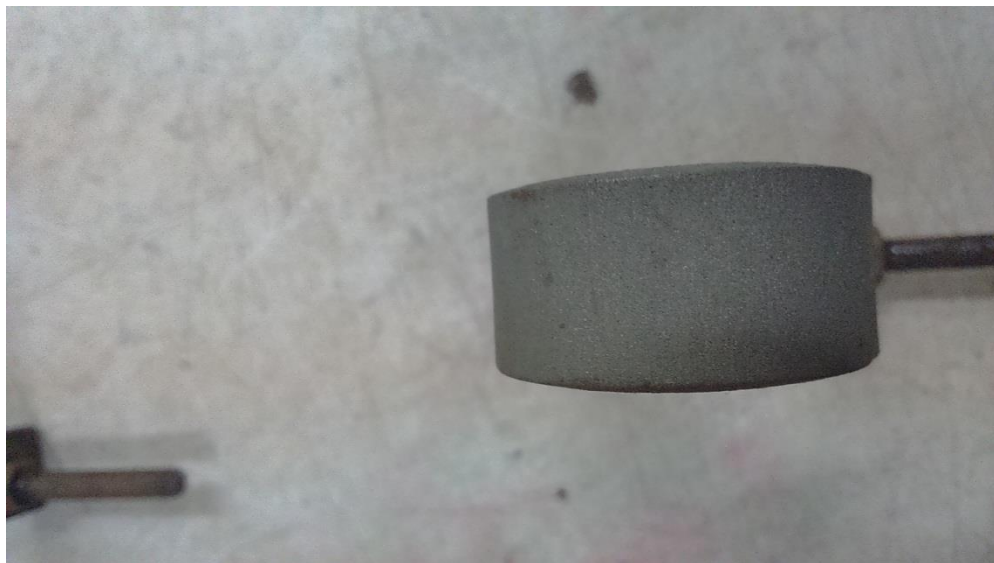


Gambar 4.7. Spesimen pada base metal setelah pengujian selama 12 jam.

#### IV.1.1.3 Hasil pengujian 18 jam



Gambar 4.8. Spesimen pada weld metal setelah pengujian selama 18 jam

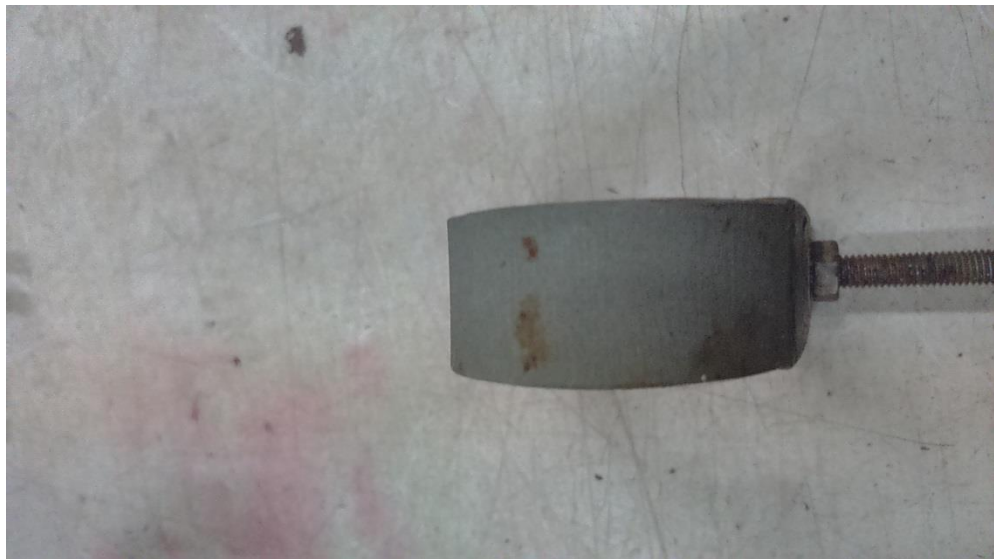


Gambar 4.9. Spesimen pada base metal setelah pengujian selama 18 jam.

#### IV.1.1.4 Hasil pengujian 24 jam



Gambar 4.10. Spesimen pada weld metal setelah pengujian selama 24 jam.



Gambar 4.11. Spesimen pada base metal setelah pengujian selama 24 jam.

## IV.2 Data Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Data hasil pengujian selama 6 jam.

	Spesimen	Konsentrasi	Jumlah Retak	Panjang Retak (mm)	rata-rata
Tanpa Pengelasan	B1	37%	1	0.081	0.081
Dengan Pengelasan	W1	37%	2	0.302	0.267
				0.231	

Tabel 4.2 Data hasil pengujian selama 12 jam.

	Spesimen	Konsentrasi	Jumlah Retak	Panjang Retak (mm)	rata-rata
Tanpa Pengelasan	B2	37%	2	0.339	0.411
				0.483	
Dengan Pengelasan	W2	37%	3	0.254	0.315
				0.354	
				0.336	



Tabel 4.3 Data hasil pengujian selama 18 jam.

	Spesimen	Konsentrasi	Jumlah Retak	Panjang Retak (mm)	rata-rata
Tanpa Pengelasan	B3	37%	2	0.454	0.439
				0.424	
Dengan Pengelasan	W3	37%	3	0.315	0.334
				0.464	
				0.222	

Tabel 4.4 Data hasil pengujian selama 24 jam.

	Spesimen	Konsentrasi	Jumlah Retak	Panjang Retak (mm)	rata-rata
Tanpa Pengelasan	B4	37%	3	0.414	0.445
				0.501	
				0.421	
Dengan Pengelasan	W4	37%	5	0.395	0.468
				0.721	
				0.52	
				0.518	
				0.186	

## IV.2.1 Rekapitulasi

### IV.2.1.1 Jumlah retak terhadap waktu

Tabel 4.5 Rata-rata jumlah retak terhadap waktu.

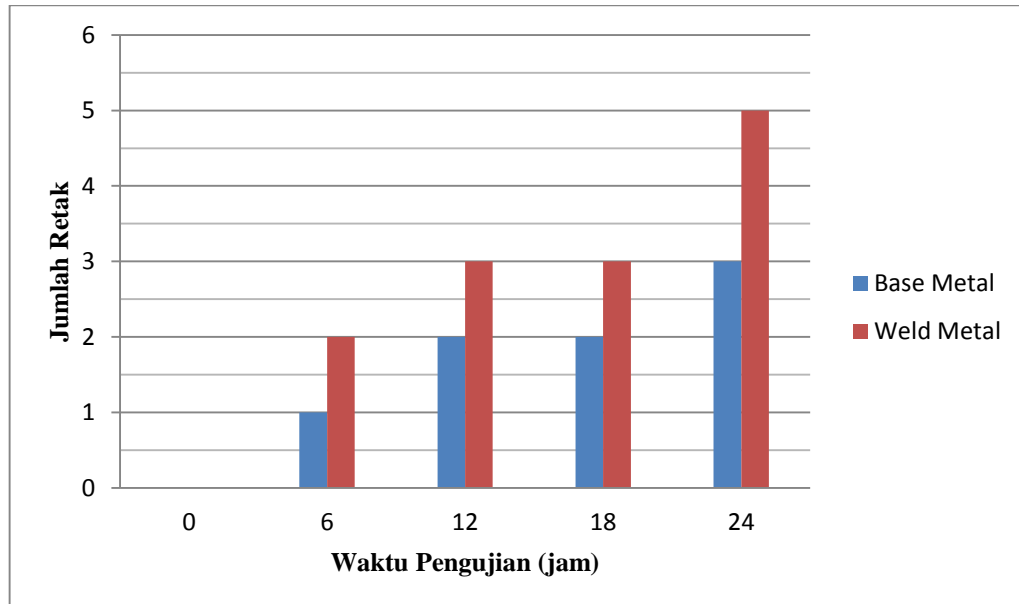
Spesimen \ Waktu	0 jam	6 jam	12 jam	18 jam	24 jam
Base Metal dalam larutan HCl 37 %	0	1	2	2	3
Weld Metal dalam larutan HCl 37%	0	2	3	3	5

Rata-rata jumlah retak dalam selang waktu 0-24 jam :

- Base metal dalam larutan HCl 37 % = 3 retak
- Weld metal dalam larutan HCl 37 % = 5 retak

Penggambaran grafik :

#### Jumlah Retak vs Waktu



Gambar 4.12. Grafik jumlah retak vs waktu pada base metal dan weld metal.

**Pembahasan:**

Pada grafik 4.12 (grafik jumlah retak vs waktu) dapat diketahui bahwa semakin lama waktu pengujian dilakukan maka semakin bertambah jumlah retak yang timbul. Pada grafik serta data yang telah diperoleh dapat dilihat bahwa pada percobaan ini spesimen weld metal mengalami pertambahan jumlah retaknya lebih cepat dan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah retak pada base metal. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pengujian akan semakin menambah banyaknya jumlah retak pula. Selain itu perbedaan ini dikarenakan struktur dari weld metal dan base metal yang berbeda, dimana pada struktur base metal lebih tangguh terhadap terjadinya korosi yang merusak seperti: pitting korosi dan SCC. Hal ini dikarenakan material base metal merupakan material yang memiliki ketangguhan yang baik dan memiliki resisten terhadap SCC yang tinggi. Berbeda halnya dengan spesimen weld metal impuritas kandungan material dari weld metal tidak sebagus logam base metalnya, karena berbagai macam pengaruh dari proses pengelasan yang memungkinkan terjadinya diskontinuitas terutama oleh adanya porosity.

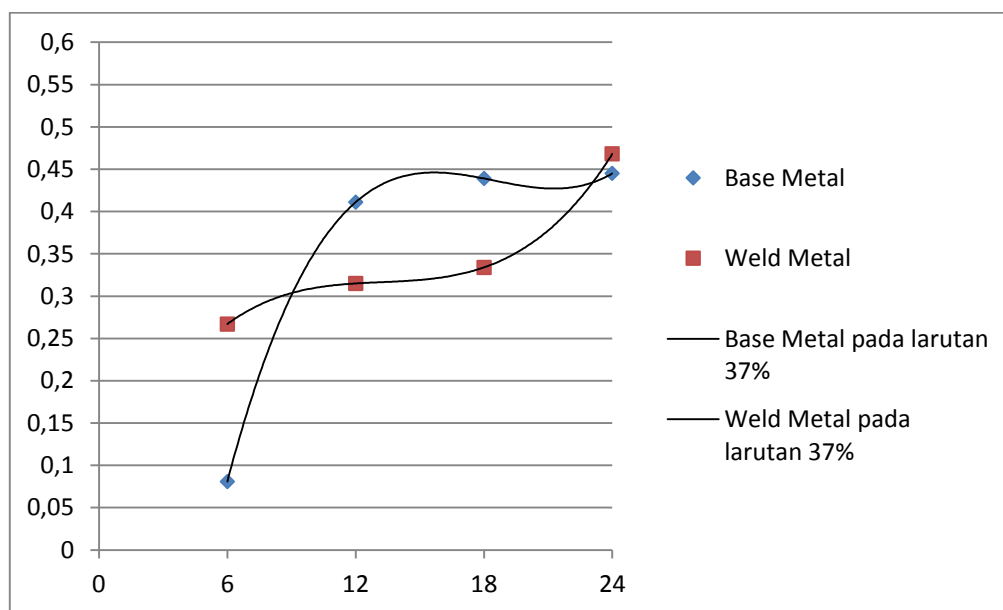
Selain itu dapat diketahui bahwa semakin besarnya konsentrasi larutan HCl maka semakin banyak jumlah retak yang ditimbulkan, hal ini dikarenakan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang terdapat pada larutan HCl merupakan ion-ion agresif yang mampu menurunkan integritas ikatan antara atom-atom logam. Semakin meningkatnya konsentrasi konsentrasi klorida maka akan meningkatkan pula jumlah ion-ion klorida sehingga menyebabkan meningkatnya jumlah retak yang timbul.

#### IV.2.1.2 Panjang retak terhadap waktu

Tabel 4.6 Rata-rata panjang retak terhadap waktu.

Spesimen \ Waktu	0 jam	6 jam	12 jam	18 jam	24 jam
Base Metal dalam larutan HCl 37 %	0	0.081	0.411	0.439	0.445
Weld Metal dalam larutan HCl 37%	0	0.267	0.315	0.334	0.468

#### Panjang Retak vs Waktu



Gambar 4.13. Grafik panjang retak vs waktu pada base metal dan weld metal.

Rata-rata pertambahan panjang retak terhadap waktu:

- Pada base metal
  - = panjang retak/lama pengujian
  - =  $0.081/6 \text{ jam} = 0.013 \text{ mm/jam}$
  - =  $0.411/12 \text{ jam} = 0.034 \text{ mm/jam}$
  - =  $0.439/18 \text{ jam} = 0.024 \text{ mm/jam}$
  - =  $0.445/24 \text{ jam} = 0.019 \text{ mm/jam}$

- Pada weld metal
  - = panjang retak/lama pengujian
  - =  $0.267/6 \text{ jam} = 0.046 \text{ mm/jam}$
  - =  $0.315/12 \text{ jam} = 0.026 \text{ mm/jam}$
  - =  $0.334/18 \text{ jam} = 0.019 \text{ mm/jam}$
  - =  $0.468/24 \text{ jam} = 0.020 \text{ mm/jam}$

### **Pembahasan:**

Pada grafik 4.13 (panjang retak vs waktu) dapat diketahui bahwa panjang retak yang terjadi semakin lama semakin panjang, baik pada spesimen base metal maupun weld metal. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu pengujian semakin lama pula ion-ion klorida bereaksi dengan logam sehingga menyebabkan terjadinya proses putusnya ikatan-ikatan antar atom lebih banyak, proses ini terutama terjadi pada ujung retakan.

Selain itu semakin besar konsentrasi larutan HCl menyebabkan semakin bertambahnya panjang retak, seperti diketahui bahwa semakin besar jumlah ion-ion klorida yang ada maka semakin besar pula ion-ion klorida yang menyerang logam, sehingga meningkatkan juga laju penguraian logam terutama pada ujung retak. Oleh karena itu pertambahan panjang retak dapat terjadi.

Dari data hasil pengujian yang diperoleh dapat diketahui bahwa pada spesimen base metal lebih tahan terhadap SCC dari pada weld metal, ini dapat diketahui dari jumlah retak yang timbul.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan percobaan Stress Corrosion Cracking dan menganalisa hasil pengujian, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode pengujian SCC ini dapat dilakukan pada Stainless Steel 304 dan weld metalnya, dimana dapat dilihat dari retak yang timbul dipermukaan.
2. Rata-rata pertambahan jumlah retak dalam selang waktu 0-24 jam
  - Pada spesimen base metal yaitu 3 buah retak.
  - Pada spesimen weld metal yaitu 5 buah retak.
3. Rata-rata panjang retak dalam selang waktu 0-24 jam
  - Pada spesimen base metal yaitu sepanjang 0.445 mm
  - Pada spesimen weld metal yaitu sepanjang 0.468 mm

#### **V.2 Saran**

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Penambahan waktu pengujian dan selang waktu pengambilan spesimen.
2. Menggunakan media korosi yang berbeda dalam pengujian yang dilakukan.
3. Penggunaan metode pengujian SCC yang berbeda seperti C-ring, bend beam, dll.



## DAFTAR PUSTAKA

- API. (2015, April 14). "Information Teknologi Pengelasan". Retrieved from Asosiasi Pengelasan Indonesia: <http://www.api-iws.org/informasi-teknologi-pengelasan.html>.
- ASTM G 30. 1994. Making and Using U-Bend Stress Corrosion Test Specimens. USA.
- ASTM G-36. 1994. Practice for Performing Stress Corrosion Cracking Test in a Boiling Magnesium Chloride Solution. USA.
- ASTM G 58. 1994 . Preparation of Stress Corrosion Test Spesimens for Weldments. USA.
- Fontana, Mars G., "Corrosion Engineering", 3<sup>rd</sup> edition, Mc. Graw Hill Book Co, Singapore 1987.
- Jones A, Russel. 1992. "Stress Corrosion Cracking". ASM. USA.
- Kenyon W, dan Ginting., "Dasar-dasar Pengelasan", Erlangga, 1978.
- Rokhim, S., "Metallurgi Fisik Baja Tahan Karat" Diktat Korosi dan Pengendaliannya, ITB Bandung, 1979.
- Thretheway, K.R., Chamberlin J., "Kososi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan", Gramedia, Jakarta, 1991.
- Wiryosumanto, H. dan Okumura, T., "Teknologi Pengelasan Logam", Jakarta, Pradnya, 1996.

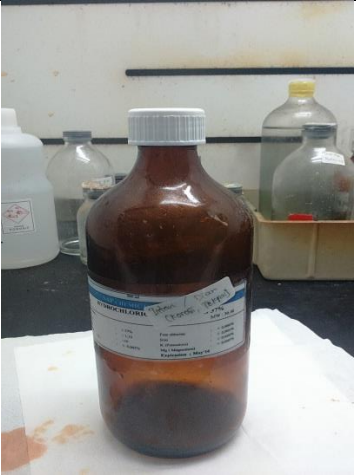


## LAMPIRAN A

Berikut adalah lampiran mengenai peralatan dan bahan yang digunakan selama proses penelitian, dimulai dari peralatan dan bahan pembuatan spesimen, pembuatan spesimen uji, dan peralatan saat proses pengujian dilakukan.

### Peralatan Penelitian

No	Nama Bahan	Gambar
1	Stainless Steel 308	
2	Batu Gerinda	



3	Larutan HCl 37%	
4	Kaca Pembesar	
5	Magnet Yoke	

## Peralatan Pengelasan


No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Las SMAW	
2	<b>Filler Metals</b> Elektrode E 308 Diameter = 3.2 mm	
3	<i>Welding Helmet</i>	

### Peralatan Persiapan Material Uji


No	Nama Alat	Gambar
1	<b>Mesin Gergaji</b> Merk : Weisel Tipe : BSM-280 Daya : 2,2 KW Power supply : 380 V, 50 Hz Tahun pembuatan : 1978 Berat : 495 Kg Mata gergaji : Sandflek	
2	<b>Mesin Gerinda</b> Merk : BOSCH Daya : 670 W Power supply : 220V-230V 50-60 Hz, 3A RPM : 11000 rev/min	
3	<b>Ragum</b>	
4	<b>Kikir</b> Tipe : Kikir pipih dan setengah lingkaran	


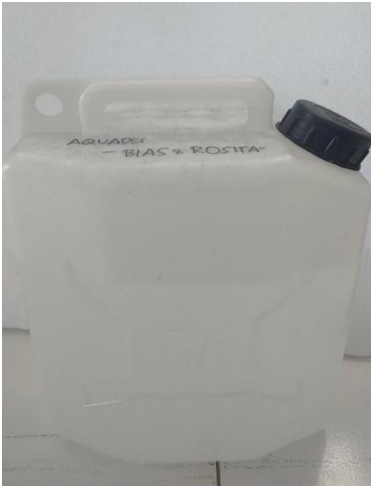

5	<b>Jangka Sorong</b> Merk : Absolute Tipe : Digital	
---	---	--

### Peralatan Uji Bending



No	Nama Alat	Gambar
1	<b><i>Universal testing Machine</i></b> Merk : Mess MFL, Germany Tipe : UPD-20 Kapasitas : 200 KN	

### Peralatan Uji SCC

No	Nama Alat	Gambar
1	<b>Lemari Asam</b>	

2	<i>Gelas Beaker</i>	
3	<i>Aquades</i>	
4	<i>Sarung tangan dan masker</i>	



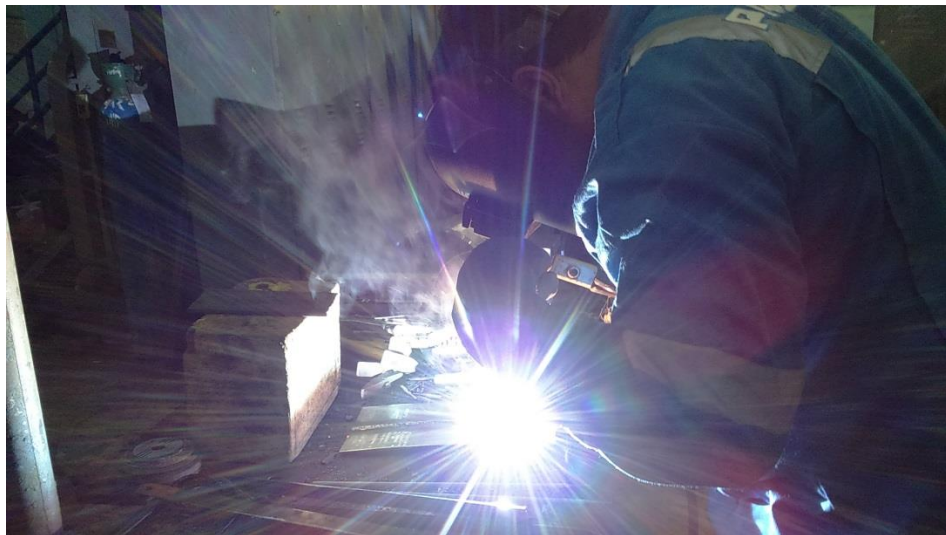
5	<i>Pencapit kayu</i>	
6	<i>Jas Lab</i>	

## LAMPIRAN B

Berikut adalah lampiran mengenai proses pengelasan yang dilakukan selama penelitian. Proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Produksi, Jurusan Teknik Perkapalan ITS.



Gambar 1. Material sebelum dilakukan pengelasan



Gambar 2. Proses Pengelasan SMAW.

## LAMPIRAN C

Berikut adalah lampiran mengenai hasil-hasil pengujian Stress Corrosion Cracking (SCC) dengan bantuan kaca pembesar dan pengujian Magnetic Particle Inspection (MPI). Proses analisa dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Jurusan Teknik Perkapalan ITS.



Gambar 3. Material weld metal pada pengujian 6 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection



Gambar 4. Material base metal pada pengujian 6 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection





Gambar 5. Material weld metal pada pengujian 12 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection



Gambar 6. Material base metal pada pengujian 12 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection



Gambar 7. Material weld metal pada pengujian 18 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection



Gambar 8. Material base metal pada pengujian 18 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection



Gambar 9. Material weld metal pada pengujian 24 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection



Gambar 10. Material base metal pada pengujian 24 jam setelah uji Magnetic Particle Inspection

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Depok pada tanggal 8 Juli 1993 dengan nama lengkap Intan Pratiwi. Penulis yang akrab disapa Intan merupakan anak pertama dari Bapak Wawan Sulaeman dan Ibu Rosidah Oktiani. Pendidikan formal yang ditempuh penulis yaitu SDN 01 Bojonggede Bogor, SDN III Kebraon Surabaya, SDN 06 Bojonggede Bogor, SMP Taruna Andigha Bogor, SMAN 8 Bogor. Setelah menamatkan pendidikan SMA, penulis melanjutkan studi sebagai mahasiswa pada Jurusan Teknik Perkapalan ITS pada tahun 2011. Selama masa perkuliahan penulis aktif di berbagai kegiatan kemahasiswaan. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi tingkat jurusan yakni menjadi Staff PSDM HIMATEKPAL ITS 2012/2013, Kadiv PSDM HIMATEKPAL ITS 2013/2014 serta Steering Committee Kaderisasi HIMATEKPAL ITS 2013/2014. Penulis juga aktif dalam kegiatan tingkat Jurusan yakni menjadi anggota Dialog Interaktif (DI) Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) 6 ITS, Ketua Pelaksana Dialog Interaktif (DI) Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) 7 ITS, dan Anggota Tim Konseptor Dialog Interaktif (DI) Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) 8 ITS.

Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi tingkat institut yakni menjadi Staff Kaderisasi PSDM BEM ITS periode 2012/2013. Penulis aktif dalam kegiatan tingkat institut yakni menjadi Organizing Committee Gerakan Integralistik ITS (GERIGI) 2012, Steering Committee Gerakan Integralistik ITS (GERIGI) 2013. Pelatihan yang diikuti penulis selama masa perkuliahan diantaranya ESQ 2011, Gerakan Integralistik ITS (GERIGI) 2011, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Pra-Dasar (LKMM Pra-TD) FTK ITS 2011, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar (LKMM TD) HIMATEKPAL ITS 2012, Pelatihan Pemandu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat (PP LKMM) FTK ITS 2012, dan Latihan

Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Menengah (LKMM TM) FTK ITS 2013. Di pertengahan tahun 2014, penulis menyelesaikan Kerja Praktek pertamanya di PT. Biro Klasifikasi Indonesia (PERSERO) cabang pusat dan di awal tahun 2015 penulis menyelesaikan Kerja Praktek keduanya di perusahaan galangan kapal PT. Daya Radar Utama cabang pusat.

Dengan selesainya Tugas Akhir yang berjudul “Studi Pengaruh Ketahanan stress Corrosion Cracking (SCC) pada Pengelasan Stainless Steel 304 dengan Metode U-Bend Stress pada Tangki Ruang Muat Chemical Tanker” telah berhasil mengantarkan penulis untuk lulus dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Perkapalan ITS pada tahun 2015. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail [intanpratiwi31.ip@gmail.com](mailto:intanpratiwi31.ip@gmail.com).